

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

# سیستمها و قطعات الکترونیک نوری

جلد اول

ترجمه:

**دکتر محمود صیفوری**

(عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی)

سر شناسنامه : گوپتا، اس، سی Gupta, S.C -  
 عنوان و نام پدید آور : سیستمها و قطعات الکترونیک نوری / [اس.سی. گوپتا] ; ترجمه محمود صیفوری  
 مشخصات نشر : تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۳۸۹.  
 مشخصات ظاهری : ج ۱، ۵۲۴ ص. مصور، نمودار.  
 شابک : دوره: ۶-۵۶-۲۶۵۱-۹۶۴-۹۷۸ ج ۱: ۲-۵۴-۲۶۵۱-۹۶۴-۹۷۸  
 ج ۲: ۹-۵۵-۲۶۵۱-۹۶۴-۹۷۸  
 وضعیت فهرست نویسی : فیبا.  
 یادداشت : عنوان اصلی: Optoelectronic Devices And System  
 یادداشت : ج. ۱ (چاپ اول: ۱۳۸۹) (فیبا)  
 موضوع : الکترونیک نوری.  
 موضوع : الکترونیک نوری - ابزار  
 شناسنامه افزوده : صیفوری، محمود، ۱۳۴۱ - مترجم  
 شناسنامه افزوده : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی  
 رده بندی کنگره : TA ۹س۹/س۱۷۵۰/ ۱۳۸۹  
 رده بندی دیویی : ۶۲۱/۳۸۰۴۵  
 شماره کتابشناسی ملی : ۹۵۸۳۵۰۲



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

عنوان : سیستمها و قطعات الکترونیک نوری  
 مترجم : محمود صیفوری  
 نوبت چاپ : اول - بهار ۱۳۸۹  
 انتشارات : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی  
 طرح جلد : دلریا جمفری  
 لیتوگرافی : شریف  
 چاپ : شریف  
 ناظر فنی : شهرام طهماسبی  
 شمارگان : ۱۰۰۰ جلد  
 قیمت : ۹۰۰۰ تومان  
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱۵۴-۲

---

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی محفوظ است.  
نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰ - ۹  
نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳ پست الکترونیکی: [sru@srttu.edu](mailto:sru@srttu.edu)

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل ۱: موجبرها و فیبر نوری
۱	۱-۱ موجبرهای تخت دی الکتریکی.....
۶	۱-۱-۱ مُد ها در موجبر تخت متقارن.....
۷	۲-۱-۱ شرط مد.....
۸	۳-۱-۱ قطبش $TE$ و $TM$ .....
۹	۴-۱-۱ نمودار مد $TE$ .....
۱۱	۵-۱-۱ مد ها با مرتبه بالا تر.....
۱۶	۶-۱-۱ الگوی مد.....
۱۷	۷-۱-۱ مد ها در موجبرهای تخت نامتقارن.....
۱۹	۲-۱ طبقه بندی فیبر های نوری.....
۲۴	۳-۱ تشریح مدها.....
۲۴	۱-۳-۱ انواع مدها.....
۲۶	۲-۳-۱ مدهای هدایت شونده، تابشی و نشتی بر روی صفحه $\omega - \beta$ .....
۲۸	۳-۳-۱ پارامترهای فیبرهای نوری تک مدی و چند مُدی.....

- ۲۹.....۴-۳-۱ مدها در فیبر های نوری تک مدی و چند مدی
- ۳۲.....۴-۱ فیبر نوری با شاخص پله ای: روزنه عددی و پاشیدگی چند مسیره
- ۳۵.....۱-۴-۱ انتشار و پاشیدگی چند راه در فیبر نوری با شاخص درجه بندی شده
- ۳۵.....۵-۱ اپتیک پرتو و کاربردهای آنها
- ۳۷.....۱-۵-۱ زاویه بحرانی
- ۳۷.....۲-۵-۱ موجهای الکترومغناطیس
- ۳۸.....۳-۵-۱ پاشیدگی ماده و اعوجاج پالس
- ۴۸.....۴-۵-۱ سالیونها
- ۵۰.....۵-۵-۱ نرخ اطلاعات
- ۵۵.....۶-۱ فیبر نوری تک مدی
- ۵۶.....۷-۱ روزنه عددی
- ۵۷.....۸-۱ انواع گوناگون فیبر های نوری تک مدی
- ۶۰.....۹-۱ کنترل کیفیت سیگنال
- ۶۰.....۱-۹-۱ ائتلاف تضعیف
- ۶۳.....۲-۹-۱ جذب
- ۶۴.....۳-۹-۱ پراکندگی ری لای

- ۶۵.....۴-۹-۱ ضریب پراکندگی ری لای
- ۶۷.....۵-۹-۱ پراکندگی غیر خطی در فیبر های نوری
- ۷۰ ..... ۱۰-۱ ساخت و کشیدن فیبر نوری
- ۷۲..... ۱-۱۰-۱ روش بوته ای مضاعف
- ۷۳..... ۲-۱۰-۱ روش رسوب سازی داخل بخار (IVD)
- ۷۴ ..... ۳-۱۰-۱ روش رسوب سازی خارج بخار (OVD)
- ۷۶ ..... ۴-۱۰-۱ روش رسوب سازی با بخار شیمیایی (CVD)
- ۷۷..... ۵-۱۰-۱ روش اصلاح شده رسوب سازی با بخار شیمیایی (MCVD)
- ۸۳..... ۶-۱۰-۱ روش MCVD پیشرفته پلاسمایی (PMCVD)
- ۸۵ ..... ۷-۱۰-۱ روش CVD با پلاسمای فعال شده (PCVD)
- ۸۷..... ۸-۱۰-۱ روش رسوب سازی خارج پلاسمای (POD)
- ۸۸..... ۹-۱۰-۱ روش رسوب سازی محوری فاز بخار (VAD)
- ۹۲..... ۱۰-۱۰-۱ کشیدن فیبر های نوری
- ۹۴ ..... ۱۱-۱۰-۱ مقایسه عملکرد
- ۹۵..... ۱۱-۱ مکانیزم اتلاف
- ۹۵..... ۱-۱۱-۱ اتلاف جایگیری
- ۹۶ ..... ۲-۱۱-۱ اتلاف برگشتی

۹۸.....	۳-۱۱-۱ تلفات اتصال (تلفات ذاتی).....
۱۰۱ .....	۴-۱۱-۱ تلفات غیر ذاتی .....
۱۰۳.....	۵-۱۱-۱ اتلاف بازتاب.....
۱۰۵.....	۶-۱۱-۱ تکنیکهای جوش دادن.....
۱۰۶.....	۷-۱۱-۱ رویه جوش دادن.....
۱۰۸ .....	۸-۱۱-۱ انواع جوش .....
۱۰۹.....	۹-۱۱-۱ جوش گداختی.....
۱۱۴.....	۱۰-۱۱-۱ محافظت از جوش گداختگی.....
۱۱۶ .....	تمرین ها.....
۱۱۹ .....	مراجع.....

## فصل ۲: منابع و آشکارسازهای فوتونی

۱۲۱ .....	۱-۲ منابع نوری فوتونی نیمه هادی.....
۱۲۲ .....	۲-۲ فرستنده ها و منابع نوری.....
۱۲۳.....	۳-۲ دیودهای نورگسیل ( <i>LEDs</i> ).....
۱۲۶ .....	۴-۲ مزایا و معایب دیودهای نورگسیل.....
۱۲۸ .....	۵-۲ دیودهای نورگسیل.....



- ۱۲۸ ..... LED های بوروس ۱-۵-۲
- ۱۳۱ ..... LED لبه گسیل (ELED) ۲-۵-۲
- ۱۳۶ ..... ارسال آنالوگ با LED ۶-۲
- ۱۴۱ ..... ارسال دیجیتال با LED ۷-۲
- ۱۴۶ ..... مقدمه ای بر لیزرها ۸-۲
- ۱۴۶ ..... تابش جسم سیاه ۱-۸-۲
- ۱۴۸ ..... آمار بولتزن ۲-۸-۲
- ۱۴۹ ..... ضرایب آنیشتن برای جذب و گسیل ۹-۲
- ۱۵۶ ..... مشخصه تابش های لیزر ۱۰-۲
- ۱۵۷ ..... جهت داری ۱-۱۰-۲
- ۱۵۸ ..... شدت ۲-۱۰-۲
- ۱۶۰ ..... تک رنگی ۳-۱۰-۲
- ۱۶۱ ..... همدوسی ۴-۱۰-۲
- ۱۶۲ ..... دیود لیزری نیمه هادی ۱۱-۲
- ۱۶۵ ..... لیزرهای نیمه هادی با ساختار ناهمگون ۱-۱۱-۲
- ۱۷۱ ..... لیزرهای نیمه هادی تک فرکانسی ۲-۱۱-۲
- ۱۷۵ ..... لیزر تزریق نیمه هادی ۳-۱۱-۲

۱۸۰	لیزرهای چاه کوانتومی	۴-۱۱-۲
۱۸۱	لیزرهای هدایت شونده با شاخص	۵-۱۱-۲
۱۸۴	لیزرهای تزریق تک فرکانسی	۶-۱۱-۲
	لیزر با کاواک برش خورده جفت شده ( $C^3$ ): یک روش برای بدست آوردن	۷-۱۱-۲
۱۸۷	پهنای خط طیفی باریک	
۱۹۰	بسته ای سازی منابع فوتونی	۱۲-۲
۱۹۰	بسته ای سازی <i>LED</i>	۱-۱۲-۲
۱۹۲	بسته ای سازی دیود لیزری	۲-۱۲-۲
۱۹۴	جیر جیر فرکانسی	۱۳-۲
۱۹۴	آشکار سازهای نوری	۱۴-۲
۱۹۵	فتو دیود های <i>PIN</i>	۱-۱۴-۲
۱۹۹	فتو دیود بهمنی	۲-۱۴-۲
۲۰۳	دیود فتو ولتایی	۳-۱۴-۲
۲۱۱	پارامترهای کارآیی آشکار ساز: منابع نویز	۱۵-۲
۲۱۸	نویز در آشکار ساز نوری	۱-۱۵-۲
۲۱۹	نویز کوانتومی	۲-۱۵-۲
۲۲۲	تمرین ها	
۲۲۴	مراجع	

### فصل ۳: المانهای الکترواپتیکی

- ۲۲۵..... اثر الکترواپتیکی ۱-۳
- ۲۲۵..... اثر کر ۱-۱-۳
- ۲۲۸..... اثر پوکلز ۲-۱-۳
- ۲۳۱..... اثر فارادی ۳-۱-۳
- ۲۳۳..... سویچینگ  $Q$  ۲-۳
- ۲۳۵..... روش آینه دوار ۱-۲-۳
- ۲۳۶..... سویچ  $Q$  الکترواپتیکی ۲-۲-۳
- ۲۳۷..... مدوله سازی خروجی لیزر ۳-۳
- ۲۳۷..... مدوله سازی داخلی ۱-۳-۳
- ۲۳۸..... مدوله کننده مکانیکی ۲-۳-۳
- ۲۳۸..... مدوله سازی آکوستیکی ۳-۳-۳
- ۲۴۰..... مدوله کننده های جذب ۴-۳-۳
- ۲۴۱..... خمش الکترواپتیکی پرتو ۵-۳-۳
- ۲۴۲..... مدوله کننده های الکترواپتیکی ۴-۳
- ۲۴۲..... شکست دوگانه و اثر الکترواپتیکی: کاربرد در مدوله سازی فاز ۱-۴-۳

- ۲۴۷.....مدوله سازی دامنه الکترواپتیکی.....۵-۳
- ۲۵۴.....مدوله کننده های الکترواپتیکی.....۶-۳
- ۲۵۶.....اثر کر در فرکانس نوری.....۱-۶-۳
- ۲۵۶.....رویش و سویچینگ.....۷-۳
- ۲۶۰.....المانهای مغناطیسی - نوری.....۸-۳
- ۲۶۰.....اثر فارادی.....۱-۸-۳
- ۲۶۳.....اثر آکوستوآپتیکی.....۹-۳
- ۲۶۹.....اپتیک غیر خطی.....۱۰-۳
- ۲۷۶.....زمینه ی اپتیک غیر خطی.....۱-۱۰-۳
- ۲۷۸.....تولید هامونیک دوم.....۲-۱۰-۳
- ۲۸۰.....نتایج آزمایشگاهی محققین اولیه و تحلیل تئوری آنها.....۳-۱۰-۳
- ۲۸۶.....نتایج تحقیقات محققین اولیه.....۴-۱۰-۳
- ۲۹۰.....فرآیندهای جذب چند فوتونی.....۵-۱۰-۳
- ۲۹۶.....ضریب شکست وابسته به شدت.....۶-۱۰-۳
- ۳۰۱.....تولید هامونیک دوم.....۱۱-۳
- ۳۰۱.....مقدمه.....۱-۱۱-۳
- ۳۰۷.....داده ها و روش تجربی.....۲-۱۱-۳

- ۳-۱۱-۳ تئوری کلی..... ۳۱۷
- ۳-۱۱-۴ تشکیل کانتورها..... ۳۲۷
- ۳-۱۱-۵ الگوی حاشیه لبه..... ۳۱۹
- ۳-۱۲-۱۲ فرآیندهای جذب چند فوتونی..... ۳۴۰
- ۳-۱۲-۱ فرآیند جذب دو فوتونی..... ۳۴۱
- ۳-۱۲-۲ داده ها و روش تجربی..... ۳۴۳
- ۳-۱۲-۳ جذب دو فوتونی در مواد آلی فلزی..... ۳۵۴
- ۳-۱۲-۴ فرآیند جذب سه فوتونی..... ۳۵۹
- ۳-۱۲-۵ تئوری فرآیند جذب سه فوتونی..... ۳۶۳
- ۳-۱۲-۶ محاسبه سطح مقطع..... ۳۷۱
- ۳-۱۲-۷ تحلیل چرخش برای فرآیند جذب سه فوتونی..... ۳۷۶
- ۳-۱۲-۸ نتایج تجربی و تشریح مطالب..... ۳۸۷
- ۳-۱۲-۹ تئوری فرآیندهای جذب چند فوتونی..... ۳۹۵
- ۳-۱۲-۱۰ محاسبه سطح مقطع..... ۳۹۹
- ۳-۱۲-۱۱ محاسبه تابع موج و ضریب چرخش برای فرآیند جذب چهار فوتونی..... ۴۰۲
- ۳-۱۲-۱۲ نتایج تجربی و تشریح مطالب..... ۴۰۷
- ۳-۱۳-۱۳ نوسان پارامتری..... ۴۱۸

۴۲۱.....	مواد غیر خطی ۱۴-۳
۴۲۳.....	پیوست ۱-۳
۴۲۵.....	پیوست ۲-۳
۴۲۷.....	پیوست ۳-۳
۴۳۳.....	تمرین ها
۴۳۵.....	مراجع

#### فصل ۴: اپتیک فوریه و هولوگرافی

۴۴۳.....	تبدیل فوریه ۱-۴
۴۴۴.....	وجود تبدیل فوریه ۱-۱-۴
۴۴۵.....	تبدیل پالس گاوسی ۲-۱-۴
۴۴۸.....	ویژگیهای تبدیل فوریه ۲-۴
۴۴۸.....	ویژگی مقیاس بندی زمان ۱-۲-۴
۴۵۰.....	ویژگی خطی بودن ۲-۲-۴
۴۵۰.....	ویژگی تقارن یا دوگانگی ۳-۲-۴
۴۵۲.....	ویژگی تغییر مکان زمان ۴-۲-۴
۴۵۳.....	ویژگی تغییر مکان فرکانس ۵-۲-۴
۴۵۴.....	ویژگی مشتق گیری نسبت به زمان ۶-۲-۴

- ۳-۴ ویژگیهای تشکیل دهنی در تصویر عدسی ها..... ۴۵۵
- ۱-۳-۴ عدسی های کروی ..... ۴۵۵
- ۲-۳-۴ عدسی های محدب و مقعر..... ۴۵۶
- ۳-۳-۴ توان عدسی - دیوپتر..... ۴۶۰
- ۴-۳-۴ تشکیل تصویر توسط عدسی ها و آینه های کروی..... ۴۶۰
- ۵-۳-۴ نقاط مزدوج..... ۴۶۵
- ۶-۳-۴ خطای رنگی..... ۴۶۶
- ۷-۳-۴ ضریب بازتابی..... ۴۶۹
- ۸-۳-۴ چسباندن..... ۴۷۰
- ۹-۳-۴ پوشش های ضد انعکاس..... ۴۷۱
- ۴-۴ عنصر نوری هولوگرافیک..... ۴۷۱
- ۱-۴-۴ *HOE* چیست؟..... ۴۷۲
- ۲-۴-۴ جنبه های طراحی..... ۴۷۴
- ۳-۴-۴ وضوح..... ۴۷۶
- ۴-۴-۴ خطاها و میزان حساسیت هم ترازی..... ۴۷۷
- ۵-۴-۴ کاربردهای *HOE* ها..... ۴۷۹
- ۵-۴ مواد ساخت *HOE*..... ۴۸۳

- ۴-۶ تحلیل حرکت و ارتعاش توسط روشهای هولوگرافیک..... ۴۸۳
- ۴-۷ تداخل سنجی هولوگرام..... ۴۸۵
- ۴-۸ جمع آثار حرکت پله ای و ارتعاش سینوسی..... ۴۸۷
- ۴-۹ هولوگرافی استروپسکوپی..... ۴۸۹
- ۴-۱۰ هولوگرافی باریکه مدوله شده..... ۴۹۱
- ۴-۱۱ سیستمهای اندازه گیری هولوگرافیک و ارزیابی نمودارهای تداخل سنجی
- هولوگرافیک..... ۴۹۲
- ۴-۱۱-۱ تحلیل تنش آزمایشی..... ۴۹۲
- ۴-۱۱-۲ پایداری محیط..... ۴۹۳
- ۴-۱۱-۳ منبع نور..... ۴۹۳
- ۴-۱۱-۴ زمان نوردهی و نسبت باریکه..... ۴۹۴
- ۴-۱۱-۵ محیط ضبط..... ۴۹۴
- ۴-۱۱-۶ بازدهی پراش..... ۴۹۵
- ۴-۱۱-۷ وضوح..... ۴۹۶
- ۴-۱۱-۸ نسبت سیگنال به نویز..... ۴۹۶
- ۴-۱۱-۹ پراکندگی..... ۴۹۶
- ۴-۱۱-۱۰ غیر خطی بودن..... ۴۹۷



۴۹۷.....	۱۱-۱۱-۴ پردازش نويز
۴۹۷.....	۱۲-۱۱-۴ لکه کوچک
۴۹۸.....	۱۳-۱۱-۴ ارزیابی نمودارهای تداخلی هولوگرافیک
۵۰۶.....	۱۲-۴ هولوگرافی
۵۰۹.....	۱۳-۴ کاربردهای هولوگرافی
۵۰۹.....	۱-۱۳-۴ تداخل سنجی هولوگرافیک
۵۱۱.....	۲-۱۳-۴ حافظه های کامپوتري هولوگرافیک
۵۱۴.....	۱۴-۴ تداخل سنجی هولوگرافیک زمان حقیقی با بلور $LiNbO_3 : Fe$
۵۱۴.....	۱-۱۴-۴ مقدمه
۵۱۵.....	۲-۱۴-۴ اصل و آرایش آزمایشی
۵۱۸.....	۳-۱۴-۴ آزمایش
۵۱۹.....	۱۵-۴ هولوگرافی کوانتومی
۵۲۲.....	تمرین ها
۵۲۴.....	مراجع

## پیشگفتار

این کتاب موضوعات مهمی از قبیل موجرها و فیبرهای نوری، منابع نوری، المانهای الکترواپتیکی، سه بُعد نگاری<sup>۱</sup> و اپتیک فوریه، حسگرهای فیبر نوری، رایانه های نوری و کوانتومی و کاربردهای دستگاه های الکترونیک نوری را مورد بحث قرار می دهد و به چهار فصل تقسیم شده و در خاتمه هر فصل یک سری مسائل و مراجع ضروری و مفید گنجانیده شده است.

فصل ۱ مفاهیم موجرهای تخت دی الکتریکی و فیبر های نوری را بررسی می کند. در این فصل مُدها در موجرهای تخت دی الکتریک متقارن و نامتقارن، شرط مُد، قطبش مُد و الگوی مُد مورد بحث قرار می گیرد. همچنین در این فصل انتشار و پراکندگی چند مُدی در فیبر های نوری با شاخص پله ای و تدریجی تشریح می گردد. تنزل کیفیت سیگنال بدلیل پراکندگی های گوناگون و تلفات همراه با ساخت و کشیدن فیبر نوری با شکل های گوناگون توضیح داده شده است. همچنین اتصال فیبر های نوری و تلفات مربوطه در این فصل تشریح شده اند.

---

<sup>۱</sup> Holography

فصل ۲ انواع گوناگون منابع نوری که در مخابرات نوری استفاده می شوند را شرح می دهد. دیودهای نورگسیل با توان بالا و دیودهای لیزری که بطور مکرر در مخابرات استفاده می شوند با شکل توضیح داده شده اند.

مشخصات ویژه پرتو افشانی لیزر و ضرایب انیشتن آنها، بحث شده است. همچنین انواع مختلف لیزر های نیمه هادی و بسته ای سازی آنها تشریح شده است. آشکار سازهای نوری مانند *PIN* و فتودیودهای بهمنی با نمودار توصیف شده اند و پارامتر های مهم همراه با تحلیل کارآیی آشکار ساز به اثبات رسیده اند.

فصل ۳، المانهای الکترواپتیکی که سهم قابل توجهی در حوزه الکترونیک کوانتوم ایفاء کرده اند را تشریح می کند. اثرات گوناگون مانند کر<sup>۱</sup>، پوکلز<sup>۲</sup>، فارادی و سویچینگ  $Q$ <sup>۳</sup> با دیاگرامهای علامت گذاری شده توصیف شده اند.

انواع گوناگون مُدوله کننده های نوری با استفاده از دیاگرامها بطور واضح تشریح شده اند. مُدوله سازی الکترواپتیکی دامنه، مُدوله سازی فاز و مُدولاتور کر همراه با روش های روبش و سویچینگ تشریح شده اند. المانهای مغناطیس نوری<sup>۴</sup> و اثر اکوستو اپتیک<sup>۵</sup> بطور واضح با دیاگرامها تشریح شده اند. مفاهیم اپتیک غیر خطی که با تولید هارمونیک ها، جذب فوتونهای متعدد و اثر *IDRI* سر و کار دارد به تفصیل با شکل ها تشریح شده اند و معادلات گوناگون

---

<sup>۱</sup> Kerr

<sup>۲</sup> Pockels

<sup>۳</sup> Q-Switching

<sup>۴</sup> Magneto-Optic devices

<sup>۵</sup> Acousto-Optic effect

برای آگاهی دقیق موضوع اثبات شده اند تا دانشجویان مطالب را بطور روشن و واضح متوجه شوند. نتایج آزمایشات با نتیجه گیریهای منطقی، بررسی و تحلیل شده اند. فصل ۴ سه بعد نگاری و اپتیک فوریه را پوشش می دهد. این فصل مفاهیم و ویژگیهای تبدیل فوریه را توضیح می دهد.

انواع عناصر نوری سه بعدنگاری، مواد ساخت، تکنیکهای سه بعدنگاشتی، تداخل سنجی و سه بعدنگاری استروپسکپی<sup>۱</sup> با کمک نمودارها تشریح شده اند. کاربردهای آزمایشگاهی سه بعد نگاری در حوزه های مختلف و پارامترهای گوناگون مربوطه تشریح شده اند. در خاتمه این فصل، حافظه های رایانه سه بعدنگاشتی مطرح شده است.

**در جلد دوم، فصل ۱** با تکنیکهای مخابرات دیجیتال فیبر نوری سر و کار دارد. مَدوله سازی شدت مستقیم<sup>۲</sup> با آشکار سازی مستقیم بطور رایج در مخابرات آنالوگ در نرخ های داده پایین استفاده می شود. در حالیکه مخابرات دیجیتال جایی که نرخ های انتقال داده خیلی بالا است مورد استفاده قرار می گیرد. تکنیکهای مَدوله سازی گوناگون مانند *ASK*، *FSK* و *PSK* با شکلها تشریح شده اند. تکنیک دیجیتال بر اساس نمونه برداری، کوانتایی سازی<sup>۳</sup> و رمزگذاری<sup>۴</sup> تشریح شده است. دیودهای نورگسیل دیجیتال و آنالوگ و همچنین فرستنده های لیزری با شکل مورد بحث قرار گرفته اند. تاریخچه توسعه مخابرات فیبر نوری و کاربردهای آنها برای فواصل کوتاه و بلند تشریح شده است. سیستمهای ویژه مخابرات نوری که در  $8 Mb/S$  و  $2/5 Mb/S$  با موفقیت در دنیای امروز استفاده می شوند، توصیف می شوند. سوئیچینگ

---

<sup>۱</sup> Stroboscopic holography

<sup>۲</sup> Direct intensity modulation

<sup>۳</sup> Quantization

<sup>۴</sup> Encoding

بسته کوچک فوتونی<sup>۱</sup>، بافرینگ نوری<sup>۲</sup>، سوئیچینگ تکانه ای نوری<sup>۳</sup> با شکلها تشریح شده اند. تقویت کننده های نوری و انتقالات *WDM* و شبکه سازی نوری<sup>۴</sup>، برای مخابرات راه دور با نتایج آزمایشگاهی بطور جامع مطرح شده است.

در فصل ۲ حسگرهای فیبر نوری که در حوزه های پزشکی، ساخت پل ها و ساختمانها، کرنش سنج های فیبر نوری<sup>۵</sup>، ژيروسکوپ های فیبر نوری<sup>۶</sup> و آشکار سازی آلاینده ها در بنزین، بنزین، مواد شیمیایی و آب مورد بهره برداری قرار می گیرند، تشریح شده اند. چند مثال از حسگرهای *PH*، دستگاه کنترل ضربان خطرناک قلب، آشکار سازی غلظت گلوکز و غیره، همراه شکلها ارائه شده است.

فصل ۳ شامل محاسبات نوری و رایانه های کوانتومی است. این فصل با حساب *QSD* دوباره رمز شده<sup>۷</sup> و پیاده سازی و اجرای الکترونیک نوری شروع می شود. سپس شبکه عصبی مصنوعی و پیاده سازی و اجرای نوری آن، محاسبات نوری و المانهای دیجیتال نوری مورد بحث قرار می گیرند. دیگر سوئیچینگ ها و حافظه های نوری به کمک شکل های گوناگون تشریح می شوند.

فصل ۴ شامل مهمترین کاربردهای دستگاه های الکترونیک نوری در ماشین کاری مواد، علامت گذاری لیزری بر روی فلزات و غیر فلزات، فاصله یابی و تعیین هدف لیزری، روشن

---

<sup>۱</sup> Photonic packet switching

<sup>۲</sup> Optical buffering

<sup>۳</sup> Optical burst switching

<sup>۴</sup> Optical networking

<sup>۵</sup> Optical fiber strain gauges

<sup>۶</sup> Fiber optical gyro

<sup>۷</sup> Recoded QSD arithmetic

سازی با لیزر، روبشگر مادون قرمز خط، سیستم دیده بان مادون قرمز<sup>۱</sup> دوباره ساز تصویر با پرتو لیزر<sup>۲</sup>، جراحی لیزری و لخته کننده لیزری خون می باشد. نویسندگان اعتقاد دارد که این کتاب خیلی از حوزه های مهمی را که قبلاً بطور واضح تشریح نشده بودند، به تحریر در آورده است.

نویسنده از هیئت مدیره پرنیتیس- هال هند برای بازبینی انتقادی، حمایت و همکاری بسیار سپاسگذار است. تشکر ویژه خود را به اعضای فامیل خودم برای کمک کردن بی درنگ و پیوسته و تشویق و دلگرمی در دوران آماده سازی نسخه دست نویس تقدیم می کنم. از پروفیسور آر.جی.گاپتا<sup>۳</sup>، پروفیسور پی ان کاپور<sup>۴</sup>، پروفیسور آ.ک.میترا<sup>۵</sup>، دکتر آخیش داس<sup>۶</sup> بخاطر دلگرمی و انگیزش، بسیار قدر دانی می کنم.

همچنین نویسنده از آقای آرام.گارگ<sup>۷</sup> بخاطر پشتیبانی و همکاری تشکر می کند.

اس.سی.گاپتا<sup>۸</sup>

---

<sup>۱</sup> Forward looking infrared system

<sup>۲</sup> Laser beam image reproducer

<sup>۳</sup> R.G.Gupta

<sup>۴</sup> P.N.Kapoor

<sup>۵</sup> A.K.Mitra

<sup>۶</sup> Akhilesh Das

<sup>۷</sup> R.M.Garg

<sup>۸</sup> S.C.Gupta

### موجبرها و فیبر نوری

#### 1-1 موجبرهای تخت دی الکتریکی

در زمان های قدیم، مخابرات با استفاده از تلفن و امواج رادیویی در حیطه بسامدی  $KHz$  تا  $MHz$  می انجامید. در دوران جنگ جهانی دوم، بدلیل نیاز به مخابرات با سرعت بالا، رشد چشم گیری در تکنولوژی میکرو موج دیده می شد. برای بدست آوردن مخابرات مطلوب، انتقال بسامدهای میکرو موج در محدوده 1 الی 300 گیگاهرتز با استفاده از موجبرهای استوانه ای گرد و مربعی انجام می شد. طول موج میکروموج در  $300 GHz$  در محدوده  $1 mm$  است. تلفات و تضعیف در بسامد میکروموج و همچنین انتقال مُدهای طولی و عرضی مختلف ملزم آن است که از موجبر برای انتقال میکروموج استفاده شود. میکرو موج ها از منابع کلایسترون<sup>1</sup> و مگنترون<sup>2</sup> توسط موجبرها هدایت می شوند. بطور مشابه، پرتو افشانی نوری از منابع فوتونی که شامل هزاران مُد در بسامد های  $10^{15} - 10^{14} Hz$  است، نیازمند به موجبر برای مخابرات راه دور است. موجبر نوری نقش مهمی برای کاهش دادن تلفات بدلیل تضعیف، جذب، پراکندگی و

---

1 Klystron

2 Magnetron

پاشیدگی دارد. پس ما بدلیل انتقال با اتلاف کم، مفهوم موجبر در فرکانسهای نوری را توجیح می کنیم.

انتشار موج الکترو مغناطیس در موجبرهای تخت متقارن و نامتقارن در این فصل بررسی می شود. این نوع موجبر تخت کاربردهایی در لیزرهای نیمه هادی و اپتیک مجتمع عملی، دارد. اجازه دهید موجبر دو لایه ای را بررسی کنیم.

ضریب شکست لایه درونی  $n_1$  است و ضریب شکست لایه پوششی که لایه درونی را احاطه می کند،  $n_2$  می باشد. در این موجبر  $n_1 > n_2$  است. موجهای نوری تخت  $TEM$  در محیط درونی با ضریب شکست  $n_1$  منتشر می شوند.

معادلات ماکسول در انتشار مولفه های عرضی میدانهای  $E$  و  $H$  نیازمند مولفه های عمودی  $B$  و  $D$  در موجبر است که در سرتاسر مرز پیوسته هستند. در این حالت، ما بایستی از قوانین شکست<sup>1</sup> و ویژگی بازتاب کلی داخلی هنگامی که زاویه تابش کمتر یا بیشتر از زاویه بحرانی  $\theta_c$  است، پیروی کنیم. همچنین مشاهده شده است که مقداری بازتاب هنگامی که حتی  $\theta < \theta_c$  است، رخ می دهد.

این فصل مشخصه موجبر، ویژگیهای فیبرهای نوری و تلفات انتشار آنها را تشریح می کند. همچنین در این فصل ساخت، کشیدن و جوش دادن<sup>2</sup> فیبر نوری بطور جامع و دقیق به تحریر در آمده است.

موجبر تخت دی الکتریکی در شکل (1-1) ظاهر شده است. موج عمدتاً در لایه مرکزی با ضریب شکست  $n_1$  در حرکت است. این لایه اغلب از 1 میکرومتر هم کوچکتر است و به آن بعنوان یک لایه نازک<sup>3</sup> اشاره می شود. این لایه نازک بین یک لایه پایینی با ضریب شکست  $n_2$

<sup>1</sup> Refraction

<sup>2</sup> Splicing

<sup>3</sup> Film

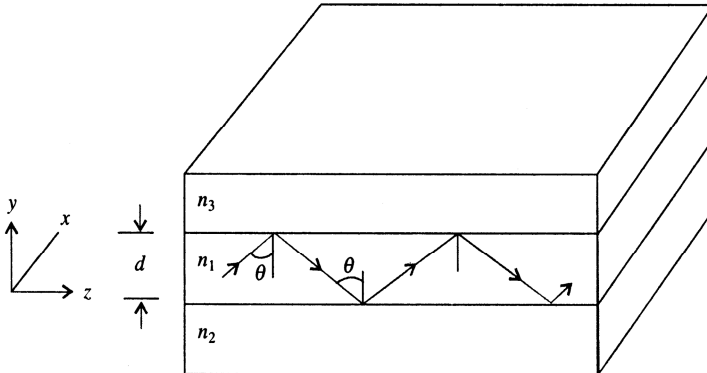


و یک لایه بالایی با ضریب شکست احاطه شده است. پرتوهای نوری در داخل این لایه نازک توسط بازتاب کلی داخلی محصور شده است. این در صورتی اتفاق می افتد که اگر هر دو  $n_2$  و  $n_3$  کوچکتر از  $n_1$  باشد. زاویه بحرانی در مرز پایینی از شکل (1-1) بدست می آید که برابر است با:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-1)$$

هنگامی که زاویه بحرانی در مرز بالایی توسط معادله زیر داده می شود:

$$\sin \theta_c = \frac{n_3}{n_1} \quad (2-1)$$



شکل 1-1: موجبر تخت دی الکتریکی  $n_1 > n_3$  ،  $n_1 > n_2$

زاویه  $\theta$  در شکل (1-1) باید مساوی با بزرگترین این دو زاویه بحرانی باشد تا نور بتواند بدون هیچگونه نشتی به لایه های خارجی، درون لایه میانی منتشر شود. جهت بدست آوردن بازتاب کلی داخلی، مرزها باید صاف باشند و در غیر این صورت پراکندگی نور در مرزها رخ می دهد و تلفات افزایش می یابد. بلاخره، برای انتقال کار آمد، جذب ماده باید کم باشد. نیوبات لیتیم ( $LiNbO_3$ ) و آرسنیک گالیم ( $GaAs$ ) دو ماده محبوب برای اپتیک مجتمع هستند که تلفاتی حول  $1 \text{ dB/cm}$  دارند. این تلفات برای فواصل کوتاه که در شبکه های مجتمع مطرح است،

قابل قبول است. مواد استفاده شده در فیبر نوری باید اتلاف کمتری داشته باشند تا بتوان از آن برای مخابرات راه دور استفاده نمود. همچنین بدلیل رخداد میدان گذرا فراتر از مرزهای بازتابی، جذب در لایه های بالایی و پایینی موجبر تخت نیز باید کم باشد.

ساختار متقارن جاییکه  $n_2 = n_3$  باشد، قابل توجه است، زیرا آن تقریباً شبیه یک فیبر نوری می شود. فیبر نوری متشابه دارای یک ضریب شکست هسته  $n_1$  که توسط یک لایه پوششی  $n_2$  احاطه شده است. یک موجبر نامتقارن که  $n_3 = 1$  است نیز مهم است. این پیکربندی یک مدار مجتمع اپتیکی است که بالای آن هوا است. در این حالت  $n_2$  ضریب شکست زیر لایه است. ما در این فصل جداگانه به بررسی موجبرهای متقارن و نامتقارن می پردازیم.

میدان در لایه نازک یک موج تخت از نوعی که در شکل (1-1) نشان داده شده است، می باشد که بصورت زیگ زاگ با زاویه  $\theta$  در انتشار است. بطور مشابه، می توانیم کل میدان را بصورت حاصل جمع دو موج تخت یکنواخت در نظر گرفت. یکی با زاویه  $\theta$  به بالا حرکت می کند و دیگری با همان زاویه به سمت پایین در حرکت است. این موج ها دارای یک ثابت انتشار هستند که می توان بصورت  $K = K_0 \cdot n_1$  نوشت.  $K_0$  ثابت انتشار فضای آزاد است. ثابت انتشار در شکل (2-1) برای هر دو موج کشیده است. جهت برآیند مسیر موج هدایت شونده در این شکل افقی است. مولفه انتشار در راستای این جهت  $\beta$  است.



شکل 2-1: ثابت های انتشار دو موج

ثابت انتشار طولی توسط رابطه زیر داده شده است:

$$\beta = K \cdot \sin \theta = K_0 \cdot n_1 \cdot \sin \theta \quad (3-1)$$

بدلیل تداخل بین موجهای پایین و بالا رونده، میدان در امتداد محور  $Y$  یکنواخت نیست و بصورت سینوسی تغییر می کند. این نوسان الگوی موج ایستا است. میدان در لایه نازک را می توان برای مُدهایی که بصورت یکنواخت (مدهای زوج) حول صفحه  $Y=0$  توزیع شده اند بصورت زیر نوشت:

$$E = E_1 \cdot \text{Cos}(hy) \cdot \text{Sin}(\omega t - \beta Z) \quad (14-1 \text{ الف})$$

و در غیر این صورت مدهای فرد داریم:

$$E = E_1 \cdot \text{Sin}(hy) \cdot \text{Sin}(\omega t - \beta Z) \quad (4-1 \text{ ب})$$

در این معادلات،  $E_1$  مقدار نوک میدان است و  $h = K \cdot \text{Cos} \theta$  (مؤلفه عمودی  $K$ ).

همچنین داریم:

$$\beta = \frac{\omega}{V_g} \quad (5-1)$$

یا

$$V_g = \frac{\omega}{\beta}$$

که  $V_g$  سرعت فاز موجبر است.

تعریف ضریب شکست، سرعت نور در فضای آزاد تقسیم بر سرعت آن در محیط نامحدود است. حال تعریف ضریب شکست موثر،  $n_{eff}$ ، سرعت نور در فضای آزاد تقسیم بر سرعت هدایت شونده است. یعنی  $n_{eff} = c/V_g$ . ثابت انتشار فضای آزاد برابر است با  $K_0 = \omega/c$ ، در نتیجه داریم:

$$n_{eff} = \frac{\beta}{K_0} \quad (6-1)$$

با استفاده از معادله (3-1):

$$n_{eff} = n_1 \cdot \text{Sin} \theta \quad (7-1)$$

همان طور که ضریب شکست یک نقش بسیار مهم در حرکت موج هدایت نشده دارد، ضریب شکست موثر نیز یک پارامتر کلیدی در انتشار هدایت شونده است. در حقیقت، ضریب شکست موثر طول موج را همانند ضریب شکست تغییر می دهد. طول موج در موجبر برابر است با:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{n_{eff}}$$

میدان های گذرا<sup>۱</sup> خارج از لایه نازک بصورت نمایی میرا می شوند. برای لایه بالایی داریم

$$:(Y > \frac{d}{2})$$

$$E = E_3 \cdot e^{-\alpha\left(Y - \frac{d}{2}\right)} \cdot \text{Sin}(\omega t - \beta Z) \quad (8-1 \text{ الف})$$

و برای لایه پایینی  $:(Y < -\frac{d}{2})$

$$E = E_2 \cdot e^{\alpha\left(Y + \frac{d}{2}\right)} \cdot \text{Sin}(\omega t - \beta Z) \quad (8-1 \text{ ب})$$

$E_3$  و  $E_2$  به ترتیب مقدار نوک میدان در مرزهای پایینی و بالایی است و  $\alpha$  ضریب اتلاف است.

### 1-1-1 مدها در موجبر تخت متقارن

یک موجبر متقارن را در نظر بگیرید. بازتاب کلی داخلی برای تمام زوایای بزرگتر از زاویه بحرانی و تا  $90^\circ$  اتفاق می افتد. یک پرتو با زاویه  $90^\circ$  همانطور که در شکل (1-1) نشان داده شده است، بطور افقی در موجبر حرکت می کند. چون برای چنین پرتوی  $\theta = 90^\circ$ ، ضریب شکست موثر  $n_{eff} = n_1$ ، نتیجه می گیریم پرتوی که موازی با موجبر تخت در انتشار است، ضریب شکست موثر آن فقط به لایه نازک هدایت کننده بستگی دارد. اما برای پرتوی با زاویه

<sup>e</sup> Evanescent

بحرانی،  $\sin \theta = n_2/n_1$ ، در نتیجه معادله (7-1) می دهد،  $n_{eff} = n_2$ . پس برای پرتوها با زاویه بحرانی، با شیب تندتری نسبت به محور موجبر در حرکت هستند. پس حال ما نشان دادیم که ضریب شکست موثر توسط ضرایب شکست لایه نازک هدایت کننده و محیط احاطه کننده اش محدود شده است. تمامی زوایای پرتوها برای امواج قابل انتشار بین  $\theta_c$  و  $90^\circ$  قرار دارند و ضریب های شکست موثر مترادف در محدوده:

$$n_2 \leq n_{eff} \leq n_1 \quad (9-1)$$

### 2-1-1 شرط مُد

صحیح است که گوییم که تمام موج ها با راه های مسیر پرتو بین زاویه بحرانی و  $90^\circ$  در داخل لایه هدایت توسط بازتاب کلی داخلی محصور خواهند شد. اما صحیح نیست که بگوییم، تمامی این موجها در امتداد ساختار منتشر می شوند. در حقیقت، فقط برخی از مسیرهای پرتو مجاز به انتشار هستند. مسیرهای مجاز مطابق با مُدهای موجبر هستند. می توان وجود این مُدها را توسط مقایسه با تشدید های کاواک<sup>1</sup> درک کرد. الگوهای تداخل پایدار (مدهای کاواک) هنگامی رخ می دهد که تغییر زاویه فاز برای یک انتشار رفت و برگشت کامل برابر با یک مضرب صحیحی از  $2\pi$  رادیان باشد. اگرچه تمام پرتوها، بازتاب کلی داخلی شده اند. پس برای مُدهای پایدار کاواک داریم:

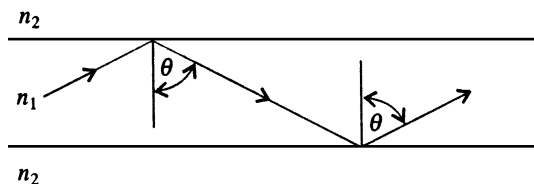
$$\Delta\Phi = m2\pi \quad (10-1)$$

$m$  یک عدد صحیح و  $\Delta\Phi$  تغییر زاویه فاز برای یک انتشار رفت و برگشتی است.

برای یک طول کاواک ثابت، معادله (10-1) برای یک تعداد طول موج برقرار است. موجبر تخت می تواند بصورت یک کاواک بررسی شود، زیرا آن دو مرز انعکاسی دارند. به جای آنکه موج در

<sup>e</sup> Cavity resonances

امتداد یک خط طولی (محور طولی) به عقب و جلو برود، امواج در موجبر تخت با یک زاویه خاصی منتشر می شوند. امواج پایین و بالا رونده با هم تداخل می کنند. شرط تشدید، معادله (10-1) هنوز باید برقرار باشد تا یک الگوی تداخل پایدار بدست آید. در این مورد، تغییر زاویه فاز پس از یک سیکل کامل راه زیگ زاگ روی می دهد. به شکل (3-1) توجه نمایید.



شکل 3-1: یک سیکل کامل راه زیگ زاگ یک مد منتشره. تغییر زاویه موج در امتداد راهش و در

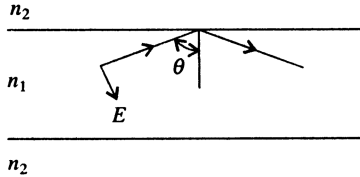
مرزهای بازتابی

می توانیم توسط تغییر مسیر پرتو، طول راه و در نتیجه کل تغییر زاویه فاز را برای یک طول موج معینی عوض کنیم. پس دوباره متوجه می شویم که معادله (10-1) فقط برای یک تعداد زاویه خاص برقرار است (مدهای موجبر). موج هایی که زاویه مسیرشان غیر از آن باشد، بدلیل تداخل مخرب، به تندی میرا می شوند.

### 3-1-1 قطبش TE و TM

معمولاً در حالت بازتاب از یک مرز مسطح، ما مسئله را به دو قطبش ممکنه تقسیم می کنیم، یکی عمودی و دیگری موازی به صفحه تابش است. در شکل (1-1)، صفحه  $YZ$ ، صفحه تابش است. موج الکترومغناطیسی که بردار میدان الکتریکی در آن در هر نقطه عمودی (صفحه  $XY$ ) بر جهت انتشار (محور  $Z$ ) باشد، موج الکتریکی عرضی یا  $TE$  نامیده می شود. در صورتیکه موجی با بردار میدان مغناطیسی در هر نقطه عمودی بر جهت انتشار باشد، موج مغناطیسی عرضی یا  $TM$  نامیده می شود. شکل (4-1) نشان می دهد که میدان الکتریکی بطور کامل

عمود بر جهت حرکت موج نیست و یک مولفه در راستای جهت  $Z$  دارد. در نتیجه قطبش این موج از نوع  $TM$  است.



شکل 4-1: قطبش موج  $TM$  در یک موجبر تخت

#### 4-1-1 نمودار مُد $TE$

برای مدهای زوج  $TE$  (که دارای تقارن زوج در صفحه عرضی هستند)، جواب معادله (10-1) بصورت زیر است:

$$\tan\left(\frac{hd}{2}\right) = \frac{1}{n_1 \cdot \cos\theta} \cdot \sqrt{n_1^2 \cdot \sin^2\theta - n_2^2} \quad (11-1)$$

که  $h = K \cdot \cos\theta = \left(\frac{2\pi \cdot n_1}{\lambda}\right) \cdot \cos\theta$  و  $\lambda$  طول موج فضای آزاد است. ما برای راحتی زیروند  $\lambda_0$  را حذف کرده ایم. در این کتاب نماد  $\lambda$  و مقادیر داده شده برای طول موج، همان مقادیر فضای آزاد هستند، مگر اینکه طور دیگری تعریف شده باشند. برای مدهای فرد،  $[hd/2 - \pi/2]$  جایگزین  $hd/2$  می شود. اگر ضخامت لایه نازک هدایت را بدانیم، مشکل است که زاویه  $\theta$  را بطور مستقیم از معادله (11-1) بدست آوریم. آسانتر است که زاویه های مختلف پرتو (بین  $\theta_c$  و  $90^\circ$ ) را انتخاب کرده و ضخامت مترادف را پیدا کنیم. نقشه جواب رابطه بین ضخامت و زاویه انتشار را می دهد. مثال پایین، این روش را روشن می سازد. برای یک موجبر تخت متقارن داریم:  $n_1 = 3,6$  و  $n_2 = 3,55$ ، که همان مشخصات یک دیود لیزری از نوع پیوند نا همگون مضاعف<sup>e</sup>  $AlGaAs$  است. ما چنین منبعی را در فصل 6 مطالعه

<sup>e</sup> Double heterojunction

می کنیم. زاویه بحرانی برای این ساختار  $\theta_c = \text{Sin}^{-1}(n_2/n_1) = 80,4^\circ$ . پس محدوده زوایای پرتوهای محصور شده  $80,4^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  است و محدوده ضریب شکست موثر  $3,55 \leq n_{eff} \leq 2,6$  است. جدول (1-1) تعدادی از محاسبات را که با استفاده از حل معادله (11-1) بدست آمده را نشان می دهد. اولین ستون جدول زاویه انتخابی است. ضریب شکست موثر که از معادله (7-1) محاسبه شده در ستون دوم قرار دارد. قسمت سمت راست معادله (11-1) سپس محاسبه شده و در ستون سوم جای گرفته اند. مقادیر در ستون چهارم از مقادیر ستون سوم مشخص شده اند. توجه داشته باشید که

$$hd = (2\pi/\lambda) \cdot n_1 \cdot d \cdot \text{Cos}\theta$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{hd}{2\pi \cdot n_1 \cdot \text{Cos}\theta} \quad (12-1)$$

مخرج این معادله در ستون 5، جدول بندی شده است. سپس مقدار  $d/\lambda$  با تقسیم کردن ستون 4 به ستون 5 محاسبه می گردد. جوابها در ستون آخر نشان داده شده اند. اگر  $\lambda$  مشخص شود، می توانیم ضخامت را هم بدست آوریم. حالت بهنجار شده،  $d/x$  هم بسیار مفید است. نتایج محاسبات در جدول (1-1)، در شکل (5-1) ترسیم شده است و بعنوان منحنی  $TE_0$  نامگذاری شده است. این نوع شکل را نمودار مُد گویند.

جدول 1-1: محاسبات مد  $TE_0$  برای موجبر متقارن.

$\theta$	$n_{eff}$	$\tan(hd/2)$	$hd$	$2n_1 \cdot \text{Cos}\theta$	$d/x$
$80,4^\circ$	3,550	0	0	3,757	0
$82^\circ$	3,565	0,651	1,155	3,148	0,367
$84^\circ$	3,580	1,235	1,780	2,364	0,753
$86^\circ$	3,591	2,161	2,275	1,578	1,442
$88^\circ$	3,598	4,653	2,718	0,789	3,445
$90^\circ$	3,600		3,142	0	